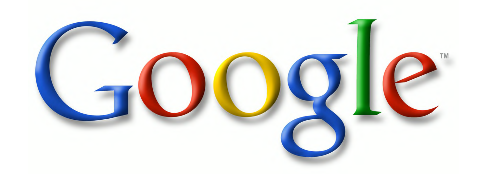


Aus dem physikalischen Institut der Universität Breslau.

Über Wärmestrahlung der elektrischen Glühlampe bei verschiedenen Stromintensitäten.

Inaugural-Dissertation,

welche

nebst den beigefügten Thesen

mit Genehmigung der hohen

philosophischen Fakultät der Königl. Universität Breslau

zur

Erlangung der philosophischen Doktorwürde

am Freitag, den 29. Mai 1903, vormittags 10 Uhr

in der Aula Leopoldina

öffentlich verteidigen wird

Felix Fischer.

Opponenten:

Herr Dr. phil. **Wilhelm Genz,**

Herr cand. phil. **Erich Wiek.**

Breslau

Buchdruckerei H. Fleischmann

1903.

Meiner lieben Braut

Einleitung.

Bevor ich diese Untersuchungen aus dem Gebiete der Wärmestrahlung begann, hatte ich mich schon mit Helligkeitsmessungen des elektrischen Glühlichts beschäftigt und beabsichtigt, eine Arbeit über Helligkeit und Farbe dieses Glühlichts anzufertigen. Jedoch fand ich in der Litteratur Untersuchungen darüber von Otto Schumann[1]). Daher wurde mir von Herrn Geheimrat, Professor Dr. O. E. Meyer im Anschluss hieran obiges Thema zur Bearbeitung überwiesen.

In neuerer Zeit sind speziell mit elektrischen Glühlampen Versuche mannigfacher Art unternommen worden. So hat z. B. L. Bleekrode[2]) die Kohlenbügel von Glühlampen mit verschiedenen Gasen umgeben und, um den Einfluss der Wärmestrahlung anzuzeigen, ein Stückchen Phosphor auf die Glasbirne gelegt. War die Lampe luftleer gepumpt, so brauchte der Phosphor längere Zeit, um sich zu entzünden, als wenn die Lampen mit Kohlensäure, Wasserstoff oder andern Gasen gefüllt waren. Es geht daraus hervor, dass Glühlampen einen um so höheren Nutzeffekt ergeben, je stärker sie evakuiert sind.

Andere Untersuchungen sollten zur Ermittelung der Temperatur der Kohlenfäden elektrischer Glühlampen führen. Prof. Janet[3]) fand bei 4 Lampen von 65 Volt und

---

[1]) Otto Schumann E. T. Z., 1884, p. 220.
[2]) L. Bleekrode, Phil. Mag. 38. 1894.
[3]) Janet, Compt. Rend. t. C. XXVI, p. 737.

10 Meterkerzen, dass die Temperaturen der Kohlenfäden eine Höhe von resp. 1720°, 1610°, 1630°, 1620° erreichten, zum Unterschiede von H. F. Weber, nach welchem die Temperatur des Kohlenfadens 1300° nicht übersteigen könnte, während Le Chatelier dieselbe auf 1800° angegeben hatte. Die neusten Strahlungs- und Temperaturmessungen jedoch, namentlich von Lummer, Pringsheim, Kurlbaum, Wien und Planck, die überhaupt einen grossen Umschwung auf diesem Gebiete herbeigeführt haben, gestatten eine exaktere Ausführung bei der Messung solcher und ähnlicher Grössen. Insbesondere sind es die von Prof. Lummer[1]) gefundenen Strahlungsgesetze des absolut schwarzen Körpers (maximale Strahlungsgesetze) und des blanken Platins (Minimalgesetze), die zu einer einfachen und schnellen Berechnung der absoluten Temperatur eines Körpers, also z. B. des hier in Betracht kommenden Kohlefadens der elektrischen Glühlampe, führen. Es wird nämlich durch die beiden Beziehungen:

$$\lambda_m \, T = 2940$$

für den schwarzen Körper, und

$$\lambda_m' \, T = 2630$$

für das blanke Platin (wobei in beiden Gleichungen λ_m diejenige Wellenlänge, bei der die Energie ihr Maximum besitzt und T die absolute Temperatur des betreffenden Körpers bedeutet) die Temperatur derjenigen Strahlungskörper innerhalb zweier Grenzen eingeschlossen, deren Strahlungseigenschaften zwischen denen des schwarzen Körpers und des blanken Platins liegen, die also zur Klasse: Platin-schwarzer Körper gehören. Hat man für diese Substanzen die Lage λ_m des Energiemaximums im Spektrum bestimmt, so erhält

---

[1]) O. Lummer. „Ueber die Strahlung des absolut schwarzen Körpers und seine Verwirklichung." Naturw. Rundschau, Bd. 11, 1895. — W. Wien und O. Lummer. „Methode zur Prüfung des Strahlungsgesetzes absolut schwarzer Körper". Wied. Ann. Bd. 56, p. 433. — O. Lummer. „Geschichtliches zur Verwirklichung der schwarzen Strahlung." Arch. f. Math. und Physik, Bd. II, 1901, p. 164.

man seine Maximal- resp. Minimaltemperatur, indem man 2940 resp. 2630 durch λ_m dividiert. Auf diese Weise hat man für verschiedene Lichtquellen, bei denen die Kohle in festem Zustande glüht, die Temperaturintervalle gefunden. War für die Glühlampe $\lambda_m = 1{,}4\ \mu$, so wurde

$$T_{max.} = 2100^0 \text{ abs. und}$$

$$T_{min.} = 1875^0 \text{ abs.}$$

berechnet[1]).

In den älteren Arbeiten aus dem Gebiete der Wärmestrahlung wurde zumeist das im Jahre 1879 von Stefan[2]) aufgestellte Gesetz geprüft, wonach die Gesamtstrahlung eines Körpers der vierten Potenz seiner absoluten Temperatur proportional sein sollte. Die ersten experimentellen Arbeiten von Dulong und Petit[3]), von de la Provostaye und Desains[4]), sowie von I. W. Draper[5]) bestätigten dieses Gesetz, andere dagegen, wie die von Schleiermacher[6]) und Bottomley[7]) bezweifelten die Richtigkeit desselben. Heute steht fest, dass die Versuche der genannten Physiker, an beliebig herausgegriffenen Körpern das Stefan'sche Gesetz experimentell nachzuweisen, nicht zu dem gewünschten Erfolg führen konnten, da man nämlich nicht berücksichtigt hatte, dass die Strahlungsgesetze bei den verschiedenen Körpern sich von einander unterscheiden, einem jeden Körper ein ihm eigentümliches Gesetz zukommen müsste. Jedenfalls hat es sich jetzt durch die Verwirklichung des absolut schwarzen Körpers erwiesen[8]), dass die Gesamtenergie der schwarzen

---

[1]) O. Lummer und E. Pringsheim. „Temperaturbestimmung fester glühender Körper". Verhandl. d. Deutsch. Phys. Ges. Bd. I, 1899. p. 230.

[2]) Stefan, Wien. Ber. 79, p. 391, 1879.

[3]) Ann. de chim. et de phys. 7. p. 113 u. 225.

[4]) Ann. de chim et de phys. (3) 12. p. 129, 16. p. 337.

[5]) Phil. Mag. 30. p. 345.

[6]) Wied. Ann. 26. p. 287 u. 34. p. 623.

[7]) Phil. Trans. 178. p. 429.

[8]) O. Lummer und E. Pringsheim. „Die Strahlung eines „schwarzen" Körpers zwischen 100° und 1300° C." Wied. Ann. Bd. 63, p. 395. 1897.

Strahlung proportional zur vierten Potenz der absoluten Temperatur, während die Gesamtstrahlung des reinen Platins proportional zur fünften Potenz anwächst und Stoffe wie Kohle, Eisenoxyd u. s. w. eine dazwischen liegende Potenz einnehmen [1]).

Ferner hat man Messungen der photometrischen und elektrischen Grössen an Glühlampen vorgenommen [2]). Handelt es sich um photometrische Grössen, so wird gewöhnlich die Lichtintensität von Glühlampen in Normalkerzen oder auch die Lichtverteilung in verschiedenen Richtungen, entweder in einer horizontalen oder vertikalen Schnittebene in Bezug auf den Kohlenfaden, gemessen. Von grösserer Bedeutung jedoch als diese Zahlen resp. Kurven, aus denen man dann wiederum verschiedene Lichtwirkungen finden kann, ist die Frage nach der Grösse der von einer Lichtquelle auf eine Fläche geworfenen Lichtmenge, also der von der Lichtquelle „indizierten Helligkeit". Darüber sind wertvolle Berechnungen von Prof. Leonhard Weber [3]) in der Abhandlung: „Kurven zur Berechnung der von künstlichen Lichtquellen indizierten Helligkeit" geliefert worden. Dazu kommen neuerdings noch photometrische Untersuchungen von Lummer und Kurlbaum, durch welche die Gesamthelligkeit eines Strahlungskörpers in Abhängigkeit von der absoluten Temperatur desselben festgestellt wurde [4]). Es wurde gefunden, dass, wenn H_1 und H_2 zwei photometrische Helligkeiten des Platins und T_1 und T_2 die beiden zugehörigen absoluten Temperaturen bedeuten, die Beziehung besteht:

$$\frac{H_1}{H_2} = \left(\frac{T_1}{T_2}\right)^x,$$

---

[1]) O. Lummer und F. Kurlbaum. „Der elektrisch geglühte, absolut schwarze Körper und seine Temperaturmessung". Verh. Phys. Ges. Berlin. Bd. 17, p. 106, 1898.

[2]) Ind. Elektr. v. 10. IV. 1901.

[3]) L. Weber, E.T.Z. 1885, p. 55.

[4]) O. Lummer und F. Kurlbaum. „Ueber das Fortschreiten der photometrischen Helligkeit mit der Temperatur." Verhandl d. Deutsch. Phys. Ges. Bd. 2, 1900.

wobei x nur innerhalb des kleinen benützten Temperaturintervalles gültig ist. Es sind, bei verschiedenen Temperaturen beginnend, einige Werte für x, die in der folgenden Tabelle angegeben sind, berechnet worden.

T abs.	900	1000	1100	1200	1400	1600	1900
x	30	25	21	19	18	15	14

Man sieht daraus, dass die Gesamthelligkeit in der Rotglut zur 30. Potenz, und bei hoher Weissglut zur 14. Potenz der absoluten Temperatur fortschreitet. Bezieht man diese Werte auf die Helligkeit und Temperatur des Kohlefadens der elektrischen Glühlampe, so ergibt sich, dass z. B. die Gesamthelligkeit der Glühlampe in der Weissglut proportional zur 14. Potenz mit der absoluten Temperatur des Kohlefadens ansteigt.

Eine sehr wichtige Frage, die allerdings schon völlig in das Gebiet der Leuchttechnik fällt, ist die nach der grössten Oekonomie der elektrischen Glühlampe. Hierbei kommt es hauptsächlich darauf an, wie man am vorteilhaftesten die photometrische Helligkeit der Glühlampe mit der elektrischen Energie verknüpft. Eine grosse Vervollkommnung in dieser Beziehung ist bis heute noch nicht gelungen, weil der elektrische Strom bisher nicht genügend zur Erzeugung des Lichts allein ausgenützt werden konnte; denn neben dem Licht entsteht durch den Strom in dem Kohlefaden eine grosse Wärmeentwicklung. Dieses Problem wird erst dann völlig gelöst sein, wenn es gelungen ist, die der Elektrizität eigentümlichen langen Aetherwellen in kurze Lichtwellen umzusetzen. Vorläufig erzielt man bei den Glühlampen eine schon bedeutende Oekonomieerhöhung, wenn man die elektrische Energie übermässig steigert, also die Lampen überhitzt, wodurch, wie wir oben gesehen haben, die Helligkeit zur 14. Potenz anwächst. Trotz des grösseren Energieverbrauchs ist es also von Vorteil, überhitzte Glüh-

lampen, die dann zwar von kürzerer Brenndauer sind, anzuwenden, als normal brennende mit längerer Brenndauer.

Eine Arbeit aus dem Gebiete der Wärmestrahlung, die mir vor Beginn meiner Untersuchungen in der Litteratur entgangen war, aber für mich von Interesse ist, ist die von H. Schneebeli[1]): „Untersuchungen im Gebiet der strahlenden Wärme.“ Nachdem der Verfasser zuert versucht hatte, ähnlich wie vorher genannte Physiker das Stefan'sche Gesetz zu prüfen, hatte er in dem dritten Teil seiner Arbeit einige Versuche über Wärmestrahlung einer elektrischen Glühlampe ausgeführt. Da aber namentlich seine Versuchsanordnung von der meinigen abweicht, glaubte ich, durch die von mir beendeten, ausführlicheren Untersuchungen die von ihm gefundenen Resultate erweitern zu dürfen.

In dieser Zeit wurde zur Entscheidung der meisten Fragen, die im Gebiet der strahlenden Wärme gestellt wurden, eine im 84. Bande von Poggendorfs Annalen p. 411 von Svanberg angegebene Methode gewählt, und so schlug auch Schneebeli diesen Weg ein. Schneebelis Anordnung unterscheidet sich von der meinigen hauptsächlich dadurch, dass ich zur Aufnahme der Wärmestrahlung eine Thermosäule, zum Variieren der für die Versuchsglühlampe verwendeten Stromstärke einen sog. Lampenvorschalt-Widerstand und zum Messen der Stromstärke ein Milli-Ampèremeter benützte. Durch den Lampenvorschalt-Apparat war ich in der Lage, den Kraftstrom, den ich für die Versuchslampe aus der elektrischen Zentrale des physikalischen Instituts bei einer durchschnittlichen Spannung von 110 Volt entnahm, beliebig zu variieren und zwar so, dass sich die einzelnen Stromintensitäten in dem Stromkreise, in welchem die Versuchslampe eingeschaltet war, durchschnittlich nur um $^1/_{50}$ Ampère unterschieden. Ich will zunächst die ganze Versuchsanordnung angeben und dabei später diesen Apparat näher beschreiben.

---

[1]) H. Schneebeli. Vierteljahrsschrift d. naturforsch. Ges. zu Zürich, Bd. 19. und Wied. Ann. Bd. 22, p. 430.

Versuchsanordnung.

Wie oben erwähnt, diente zur Aufnahme der Strahlung eine Thermosäule, die aus 56 Wismut-Antimon-Elementen zusammengesetzt war. Diejenigen Lötstellen, welche die Strahlung empfingen, waren durch Kampferruss total geschwärzt, damit sie die ihnen zugestrahlte Wärmemenge möglichst vollständig absorbieren konnten; sie waren ausserdem von einem Metalltrichter, dessen Länge 13 cm und dessen Durchmesser an der Oeffnung 10 cm betrug, zwecks ungestörter Aufnahme der Wärmestrahlen umgeben. Ueberhaupt war die Aufstellung der Thermosäule sowie der andern Apparate so bewerkstelligt, dass eine Einwirkung irgend welcher Luftströmungen oder seitlicher Strahlungen auf die Säule schwerlich stattfinden konnte. Obwohl es gebräuchlich ist, die der Strahlungsaufnahme entgegengesetzten Lötstellen der Thermosäule durch schmelzendes Eis auf konstanter Temperatur zu erhalten, machte ich davon keinen Gebrauch, weil dies bei lang andauernden Untersuchungen mit grossen Schwierigkeiten verknüpft wäre. Es wurde daher zur Erreichung desselben Zwecks ein Behälter aus dünnwandigem Glase, der eine grössere Quantität Wasser fasste mit den betreffenden Lötstellen der Thermosäule in enge Berührung gebracht. Dadurch, dass nun die Messungen in einem Raume, in dem die Temperatur nur sehr geringen Schwankungen unterlegen ist — in dem für konstante Temperatur bestimmten Zimmer, im Keller des nördlichen Flügels des Instituts — ausgeführt wurden und sich die Temperatur des Wassers dementsprechend und auch infolge seiner Quantität wenig veränderte, war ein leidlicher Ersatz für das Eis gefunden. Die Temperatur des Wassers, ebenso wie die Zimmertemperatur in der Nähe desselben, wurde durch empfindliche, $^1/_{10}$ gradige Thermometer beobachtet.

Von der Thermosäule führten zwei gut isolierte Kupferdrähte von 1 mm Stärke zu einem Spiegelgalvanometer mit astatischer Doppelnadel, zu dem parallel ein Rheostat eingeschaltet war; durch letzteren konnte man die Empfindlichkeit

des Galvanometers nach Notwendigkeit herstellen. Den Widerstand des Galvanometers selbst prüfte ich nach der Methode der Wheatstone'schen Brücke und fand, dass er 1,22 Ω betrug.

Die Beobachtungen der Galvanometerausschläge geschahen vermittelst Fernrohr und Skala; letztere war von dem Spiegel des Galvanometers 208,0 cm entfernt.

Als Versuchslampe wählte ich eine Glühlampe von J. C. Koch-Hohenlimburg, die zum Unterschiede von den andern im Institut verwendeten Glühlampen aus der Fabrik von Siemens und Halske verhältnismässig wenig Widerstand hatte. Ich ermittelte ihren Widerstand in kaltem Zustande ebenfalls nach der Methode der Wheatstone'schen Brücke und benützte dabei ein d'Arsonval-Galvanometer und den Strom von einem Akkumulator mit 2 V Spannung. Diese Lampe von J. C. Koch hatte 300 Ω Widerstand, die andern Lampen dagegen hatten 400 bis 440 Ω. Erstere war daher zu meinen Untersuchungen am besten geeignet, da der Spielraum, in welchem die Stromstärke variiert werden konnte, nach oben zu grösser wurde, der Kohlefaden der Lampe zu höherer Weissglut und somit zu grösserer Wärmestrahlung gelangte.

In den Stromkreis der Versuchslampe wurde zur Ermittelung der jeweiligen Stromstärke ein Milli-Ampèremeter von Siemens und Halske, von dem man mit grosser Genauigkeit Tausendstel von Ampère vermittelst eines unter dem Zeiger angebrachten Spiegels ablesen konnte, eingeschaltet.

In denselben Stromkreis wurde noch der schon oben erwähnte Lampenvorschalt-Apparat eingefügt, der von einem Breslauer Mechaniker hergestellt worden ist. Dieser Apparat besteht der Hauptsache nach aus 12 Glühlampen (für Spannung von 70 V), die an der unteren Seite einer Marmorplatte befestigt sind. Die Marmorplatte ruht auf 4 Füssen, auf der oberen Seite derselben laufen Messingschienen, mit Oeffnungen für Stöpsel versehen, entlang, die,

je nachdem man die Stöpsel steckt, die Verbindung zwischen den einzelnen Lampen herstellen. Die beiden Längsschienen können durch Stöpselung mit den 13 Querschienen verbunden werden, die wiederum durch Drähte mit allen 12 Lampen in leitende Verbindung gelangen können. An jedem Ende der beiden Längsschienen befindet sich eine Klemmschraube für den Leitungsdraht des Stromkreises.

In Fig. 1*) ist dieser Apparat im Horizontalschnitt gezeichnet. Die Zahlen 1 bis 35 dienen zur Bezeichnung der Stöpsel, resp. deren Oeffnungen, die Buchstaben a bis m bedeuten die 12 Lampen. Der Stromverlauf ist ebenfalls markiert. Dadurch dass die Stöpsel 1, 13, 14 bis 23 und 35 gesteckt sind, sind alle 12 Lampen hintereinander in den Stromkreis eingeschaltet. Durch den grossen Widerstand, den bei dieser Schaltung alle 12 Lampen hervorrufen, wird die ursprüngliche Stromstärke sehr reduziert, sodass diese 12 Lampen ebensowenig, wie die in demselben Stromkreise eingeschaltete Versuchslampe ins Glühen geraten. Dabei wurde am Ampèremeter eine Stromstärke von 0,060 A, die niedrigste, die mit diesem Vorschaltapparat erzielt werden konnte, abgelesen. Wenn nun die Stöpsel 34, darauf 33, 32, 31 u. s. w. gesteckt wurden, so wurde die Zahl der hintereinander geschalteten Lampen verringert, die Stromstärke dadurch vergrössert und die Versuchslampe allmählich zu höherer Glut gebracht.

In Fig. 2 sind alle 12 Lampen einzeln parallel geschaltet; jetzt kann man ebenso wie vorher durch Herausziehen eines Stöpsels nach dem andern entweder in der oberen oder der unteren Reihe beliebig viele Lampen in dem Intervalle von 1 bis 12 einzeln nebeneinander schalten, wodurch wiederum verschieden hohe Stromstärken erzielt werden. Zieht man nun in der oberen Reihe die Stöpsel 2, 4, 6, 8, 10, 12 und in der unteren 24, 26, 28, 30, 32, 34 heraus und stellt durch Hineinstecken der Stöpsel 13, 15, 17, 19, 21, 23 die leitende Verbindung her, so erhält man eine neue Schaltung, nähmlich je 2 Lampen parallel. Durch

*) Siehe Figuren im Anhang.

weitere Kombinationen erhält man eine Parallelschaltung von je 3, je 4 und je 6 Lampen.

Um diesen Apparat sicher handhaben zu können, ist allerdings einige Uebung erforderlich; dieselbe war bei meinen Untersuchungen unbedingt nötig, da das Umschalten beim Uebergange von einer Stromstärke zur andern plötzlich geschehen musste, wenn sich nicht solche Störungen einstellen sollten, die die ganze Beobachtung unbrauchbar gemacht hätten.

Durch Anwendung der Hintereinander- und der verschiedenen Parallelschaltungen habe ich eine Reihe von Stromstärken am Ampèremeter abgelesen, in welcher sich die einzelnen Glieder durchschnittlich um $^1/_{50}$ A von einander unterschieden. In der so erhaltenen Tabelle versah ich jede einzelne von den ungefähr 60 verschiedenen Stromintensitäten zwecks schnellen Gebrauchs durch Numerieren mit der erforderlichen Stöpselung. Die Reihe begann mit 0,060 A, 0,069 A, ... und erreichte mit 0,720 A ihr Maximum, bei dem die Versuchslampe mit voller Stromstärke glühte. Selbstverständlich sind die Tausendstel A der verschiedenen Stromintensitäten geringen Schwankungen unterworfen, weil auch die Spannung, die ich am Voltmeter der elektrischen Zentrale beobachtete, infolge des verschieden grossen Stromverbrauchs etwas variiert. Hierzu möchte ich noch bemerken, dass ich zu meinen Beobachtungen diejenige Tageszeit wählte, während welcher der Kraftstrom des Instituts von anderer Seite nicht in Anspruch genommen wurde. Ich erlitt stets wesentliche Störungen, wenn plötzlich ein grosser Energieverbrauch, besonders durch Einschalten von Bogenlampen eintrat.

Hiermit sei die Versuchsanordnung, soweit sie bei den Wärmestrahlungsuntersuchungen in Betracht kommt, angegeben. Es schien mir angebracht, die bei diesen Beobachtungen verwendeten Stromintensitäten mit der Grösse der gleichzeitig wirkenden Lichtstrahlung in Zusammenhang zu bringen, und da ich die für die letzere gefundenen Werte den Wärmestrahlungsbeobachtungen in den dafür zusammen-

gestellten Tabellen b[illegible] hinzugefügt habe, ist es wohl am passendsten, diese neb[illegible]enläufigen, photometrischen Untersuchungen denjenigen über der Wärmestrahlung vorwegzunehmen.

Helligkeitsmessungen der elektrischen Glühlampe bei verschiedenen Stromintensitäten.

Hierbei benützte ich ein Leonhard Weber'sches Photometer[1]), das von Schmidt und Haensch in Berlin konstruiert und mit einem Lummer-Brodhun'schen Prisma[2]) ausgestattet ist. Die als Hilfsnormalkerze eingesetzte Benzinflamme*) konnte durch eine Reguliervorrichtung mit grosser Genauigkeit auf einer Höhe von 20 mm gehalten werden und wurde durch Vergleichung mit einer 40 mm hohen Amylacetatkerze auf das „von Hefner-Alteneck'sche Normallicht[3])" reduziert.

Das elektrische Glühlicht differiert in Bezug auf seine Farbe mit der hier in Vergleich zu ziehenden Benzinflamme, sofern entweder starke oder schwache Ströme zur Erzeugung

---

[1]) Wied. Ann. Bd. 20. Zentralzeitung für Optik und Mechanik 1883. Schillings Journal für Gasbeleuchtung und Wasserversorgung 1885.

[2]) O. Lummer und E. Brodhun. „Ersatz des Photometerfettflecks durch eine rein optische Vorrichtung." Zeitschr. f. Instrumentenkunde, Bd. 9, p. 23, 1889.

*) Als Brennstoff für die Benzinkerze hatte ich mir, wie es für ausgedehnte Untersuchungen am zweckmässigsten ist, eine grössere Quantität Benzin, das aus Petroleum destiliert wird, verschafft. — Diese photometrischen Beobachtungen wurden in dem optischen Zimmer des Instituts vorgenommen, dessen Wände schwarz gestrichen sind und dessen Fenster durch schwarze Filz-Rouleaux vollständig verdunkelt werden können.

[3]) v. Hefner-Alteneck. E.T.Z. 1884, p. 21. — „Die Beglaubigung der Hefnerlampe durch die Physikalisch-Technische Reichsanstalt." Schillings Journal f. Gasbel. u. s. w. Bd. 34, 1891. — „Bekanntmachung über die Prüfung und Beglaubigung der Hefnerlampe." Zentralbl. f. d. Deutsche Reich, Bd. 21, 1893. — Zeitschr. f. Instrumentenkunde, Bd. 13, 1893.

des Glühlichts Verwendung finden, da eine Parallelschaltung Kohlefaden Weissglut, im letzteren Rotglut a... diesen beiden Extremen wird es eine gewisse zu können, ist wo eine Farbenübereinstimmung zwischen Glüh... war bei Benzinflamme eintritt; dabei finden naturgemäss allmäh...ten Uebergänge statt.

In dem Falle, wo man die Helligkeit verschiedenfarbiger Lichtquellen zu vergleichen hat, tritt eine Schwierigkeit ein; solche Lichtquellen können nämlich nicht ohne weiteres nach einer rein exakten, physikalischen Methode gemessen werden. Um nun zu einem immerhin genauen Resultat zu gelangen, zerlegt man das Licht in seine Komponenten. Dies wird erreicht, indem man farbiges Glas vor das Okular des Photometers vorschaltet, wodurch Lichtstrahlen von der betreffenden Farbe erhalten werden; man findet also die Lichtenergie einer bestimmten Wellenlänge. Ausserdem — dass sich bei solchen Untersuchungen in physiologischer Beziehung noch mancherlei subjektive Einflüsse bemerkbar machen insofern nämlich, als das individuell beschaffene, menschliche Auge bei den verschiedenen Menschen für Lichtempfindungen ungleich empfänglich ist, der Farbensinn und die Sehschärfe variieren, wodurch sogar die von einem und demselben Auge ausgeführten Beobachtungen zu verschiedenen Resultaten führen können — hat man noch folgendes zu berücksichtigen. Wenn man eine einzige Komponente des Glühlichts, z. B. die Helligkeit einer spezifisch roten Farbe, misst und dabei die Helligkeit derselben Komponente des Benzinlichts als Einheit zu Grunde legt, so erhält man einen numerischen Wert, der erst nach Multiplikation mit einem gewissen Koeffizienten k den Totaleffekt des Glühlichts im Vergleich zum Totaleffekte der Benzinflamme ergibt. Dieser Koeffizient k, der also stets von der Farbe der zu vergleichenden Lichtarten abhängt, ist in einem besonderen Falle gleich 1, nämlich dann, wenn das Glühlicht genau dieselbe Farbe hat wie die Benzinflamme; er ist grösser resp. kleiner als 1, je nachdem

ueres oder rötlicheres Licht als die gestellten Tabellen h.

sten, diese neb meinen Berechnungen, die von Prof. Leonhard denjenigen ü fundenen Werte für k benützt und, wo es nötig nterpoliert. Obwohl die von L. Weber gefundenen H rte wegen der bei Aufstellung einer solchen Tabelle für den Koeffizienten k in Betracht kommenden Sehschärfe des Beobachters zunächst nur für sein Auge gültig sind, glaubte ich, diese seine Tabelle, die bereits für normale Augen als gültig angenommen ist, ohne weiteres benützen zu können, zumal da mein Auge auf Grund einer in freundlicher Weise von dem Breslauer Augenarzt Prof. Dr. Hermann Cohn vorgenommenen Untersuchung als normal in jeder Beziehung befunden wurde, wie es seiner Zeit bei L. Weber auch der Fall war.

Zuerst habe ich die Helligkeit der 20 mm hohen Benzinflamme auf das Normallicht, die 40 mm hohe Amylacetatkerze, reduziert, oder, was dasselbe bedeutet, die Constante der bei allen Versuchen benützten Milchglasplatte — sie sei mit C bezeichnet — welche dazu dient, die von der Glünlampe herkommenden Lichtstrahlen abzuschwächen, bestimmt. Ist R die Entfernung der Amylacetatkerze von dieser Milchglasplatte C und r der Abstand der im Photometer durch einen Trieb verschiebbaren, runden Milchglasplatte von der Benzinflamme, so ist, wofern die Höhe der Amylacetatsowie der Benzinkerze als konstant betrachtet werden darf, (was wohl nach längerer Brenndauer zulässig ist)

$$C = \frac{r^2}{R^2}.$$

In der folgenden Tabelle sind die an zwei verschiedenen Tagen ausgeführten Beobachtungen zur Bestimmung von C angegeben.

---

[1]) L. Weber. „Die photometrische Vergleichung ungleichfarbiger Lichtquellen." E.T.Z. 1884. p. 166.

Tabelle 1.

R = 35 cm	R = 30 cm
r (cm)	r (cm)
22,85	19,50
22,90	19,55
22,86	19,56
22,90	19,55
22,88	19,51

R = 35 cm	R = 30 cm
r (cm)	r (cm)
22,70	19,53
22,82	19,50
22,81	19,53
22,95	19,55
22,82	19,54
22,80	

Aus diesen Werten für r, die eine grosse Uebereinstimmung zeigen, was wohl den jedesmaligen exakt gelungenen Einstellungen der beiden Flammenhöhen zuzuschreiben ist, wurde das arithmetische Mittel genommen und nach der oben angeführten Formel

$$C = 0{,}4250$$

berechnet.

Wird nun unter R die Entfernung, in der sich der Kohlefaden der Glühlampe von der Milchglasplatte C befindet, verstanden, so ist die Gesamthelligkeit H des elektrischen Glühlichts, ausgedrückt in Hefner'schen Normalkerzen:

$$H = \frac{R^2}{r^2} \cdot C,$$

wofern die beiden Lichtquellen in ihrer Farbe übereinstimmen. Es muss eine Korrektion eintreten, wenn es sich, wie schon früher erwähnt, um verschiedenfarbiges Licht handelt. Da der Farbenunterschied zwischen dem Kohlelicht und dem Benzinlicht noch nicht allzu bedeutend ist — viel krasser ist er z. B. zwischen Sonnen-[1]) und Benzinlicht — genügt es, wenn diese beiden Lichtquellen das eine Mal durch Vorschalten von rotem Glase und das andere Mal von grünem in zwei ihrer Farbenkomponenten, in die rote, resp. grüne, zerlegt, deren Helligkeiten einzeln gemessen, nach obiger Formel berechnet, den Quotienten der erhaltenen Werte, also grün dividiert durch rot, gebildet und mit diesem in den von L. Weber aufgestellten Tabellen den Wert für den Koeffizienten k aufgesucht werden. Sodann hat man noch k mit dem für die rote Farbenkomponente gefundenen Wert zu multiplizieren, und es ergibt sich der Totaleffekt des Glühlichts.

Auf diese Weise habe ich die Helligkeiten des elektrischen Glühlichts bei einer Reihe von verschiedenen Stromintensitäten beobachtet. Zum Variieren der Stromstärke diente ebenso wie bei den späteren Untersuchungen über Wärmestrahlung der anfangs beschriebene Lampenvorschalt-Widerstand und zum Messen der Stromstärke das Siemenssche Milli-Ampèremeter. Die zu untersuchende Lampe, natürlich dieselbe, welche zu allen Versuchen verwendet wurde, war so vor dem die Lichtstrahlen aufnehmenden, horizontal gerichteten Tubus des Photometers aufgestellt, dass der Kohlefaden der Glühlampe, wenn man sich durch ihn eine vertikale und zugleich zu der festen Milchglasplatte C parallele Schnittebene gelegt denkt, seine Lichtstrahlen senkrecht zu C aussandte.

---

[1]) L. Weber. „Resultate der Tageslichtmessungen in Kiel" Schriften d. naturw. Vereins f. Schleswig-Holst. X, 1895, p. 77.

Da die Angabe aller Ablesungen für r, welche ebenso, wie in Tabelle 1 angedeutet ist, geschahen, hier zu viel Raum in Anspruch nehmen würden, will ich mich darauf beschränken, in der nächsten Tabelle die auf Grund der photometrischen Beobachtungen bei den verschiedenen Stromstärken endgültig berechneten Lichtintensitäten in Normalkerzen anzugeben.

Tabelle 2.

Ampère	Normalkerzen	Ampère	Normalkerzen
0,722	33,60	0,510	5,46
0,710	30,48	0,485	4,11
0,667	22,15	0,453	2,78
0,652	19,76	0,431	2,04
0,639	17,77	0,415	1,56
0,620	15,43	0,405	1,32
0,618	15,10	0,380	0,80
0,600	13,12	0,365	0,54
0,580	11,03	0,338	0,28
0,560	8,92	0,320	0,21
0,540	7,38		

Die Fortsetzung der Helligkeitsmessung bei noch geringerer Stromstärke musste unterbleiben, weil die Lichtemission zu gering und infolgedessen schwer messbar wurde. Aus der Tabelle ist zu ersehen, dass diese Emission bei der zuletzt angewandten Stromstärke von 0,320 A eine sehr geringe Insensität von 0,21 Normalkerzen aufweist. Im allgemeinen ersieht man also aus Tabelle 2, besonders einfach auch aus der dazu gehörigen Kurve 1*), welche die Abhängigkeit der Licht- von der Stromintensität graphisch darstellt, dass vom Nullpunkt an bis zum ersten gefundenen Werte die Lichtintensität nur sehr langsam im Verhältnis zur Stromstärke anwächst, und dass hierin, wenn sich der Kohlefaden von der Rotglut aus der Weissglut nähert, eine allmählige Steigerung eintritt, während bei den höheren Stromstärken, sowie der Kohlenfaden in völlige Weissglut gelangt, die Lichtintensität enorm zunimmt.

*) Siehe Kurven im Anhang.

Die im Vorangehenden für die Lichtintensität der Glühlampe gefundenen Werte sollen in den folgenden Beobachtungen über Wärmestrahlung Verwendung finden.

Beobachtungen der Wärmestrahlung der elektrischen Glühlampe bei verschiedenen Stromintensitäten.

Bei der elektrischen Glühlampe ist die Lichtentwicklung und Strahlung die Folge hoher Erhitzuug einer festen Substanz, der Kohle; gleichzeitig findet aber auch bei dieser von R. v. Helmholtz[1]) sehr passend mit „Temperaturstrahlung" bezeichneten Emission eine Wärmestrahlung statt, die von der Grösse des durch den Kohlefaden der Glühlampe geschickten elektrischen Stroms abhängig ist. War also die im vorigen Abschnitt betrachtete Lichtintensität der Glühlampe von der Stärke des elektrischen Stroms, d. h. von der durch diesen bervorgerufenen Temperatur des Kohlenfadens, in gewisser Beziehung als abhängig dargestellt worden, so soll im folgenden die Wärmestrahlung der Glühlampe bei der jeweiligen Stromstärke oder Temperatur, wie man es auch nennen mag, und bei der noch in Vergleich zu ziehenden Lichtintensität beobachtet werden.

Was die Temperatur des Kohlefadens der Glühlampe selbst betrifft, so interessiert es hier weniger zu wissen, welches die Höhe derselben bei jeder einzelnen Stromstärke in absoluten Wärmegraden ist, da nämlich die Wärmestrahlung der Glühlampe von mir relativ gemessen werden soll; auch sind ja darüber, wie eingangs erwähnt, mehrfache Untersuchungen ausgeführt worden. Es steht fest, dass wir es bei den in Betracht kommenden Stromintensitäten mit einem Temperaturinterwalle vom mehreren Hundert

---

[1]) R. von Helmholtz. „Licht- und Wärmestrahlung verbrennender Gase." Berlin 1890.

Graden zu tun haben, wobei das Maximum in der Weissglut des Fadens mit einer Temperatur von ungefähr 2000° abs. zu suchen ist. Mit abnehmender Stromstärke geht die Weissglut in Rotglut, diese darauf in Grauglut; schliesslich schwindet auch das letzte Anzeichen irgend welcher Glut, und es scheint so, als ob hiermit der Kohlenfaden völlig erkaltet wäre. Wenn nun jegliche Glut des Fadens, also die von dem menschlichen Auge subjektiv empfundene Lichtstrahlung, aufhört, so nimmt zwar auch die objektiv vorhandene Wärmeenergie im Verhältnis mit der Stromstärke ab, wird aber nicht plötzlich gleich Null, wie man aus der Glutlosigkeit des Kohlefadens vermuten könnte; es findet trotz des soeben beschriebenen Phänomens weitere, natürlich mit abnehmender Stromstärke auch schwächer werdende Wärmestrahlung statt.

Diese Vorgänge sind leicht erklärlich, wenn man von der Theorie ausgeht, dass alle Aetherwellen, von den kleinsten chemischen oder ultravioletten über die sichtbaren hinweg bis zu den grössten Wärmewellen, den ultraroten, die Eigenschaft gemeinsam haben, ein gewisses Quantum Energie mit sich zu führen, das an einem empfindlichen Wärmemesser, z. B. an der Thermosäule, als Wärme angezeigt wird. Von diesen nur quantitativ von einander verschiedenen Wellen werden weder die ultravioletten noch die ultraroten, sondern nur die das Spektrum erfüllenden Wellen von unserem Auge als Lichtstrahlen empfunden, und zwar nur diejenigen Wellen, deren Länge das Interwall $\lambda = 0{,}4\ \mu$ bis $\lambda = 0{,}8\ \mu$ einschliesst.

Ferner sind die beiden Sprünge, die unser Auge an dem Kohlenfaden, einmal beim Uebergange von der Rotglut zur Grauglut, das andere Mal von der Grauglut zum völligen Dunkel wahrnimmt, dadurch zu verstehen, dass, wie O. Lummer[1]) in seiner Abhandlung „Grauglut und Rotglut“ gezeigt hat, bei diesem Wechsel zwei von einander

[1]) O. Lummer, „Ueber Grauglut und Rotglut.“ — Wied. Ann. Bd. 62, p. 14, 1897 und Verh. Phys. Ges. Berlin. Bd. 16, p. 121, 1897.

verschiedene lichtempfindliche Elemente der Netzhaut unsres Auges, die Zapfen einerseits und die Stäbchen andererseits, in Funktion treten. Nach O. Lummer „entsteht in beiden Fällen der „Sprung“ durch das Ueberschreiten der Reizschwelle unsres Sehnerven; nur die vermittelnden Organe sind in beiden Fällen andere: die Rotglut entspricht der Reizschwelle der Zapfen, die Grauglut der Reizschwelle der Stäbchen unserer Netzhaut.“

Was nun die Strahlung des Kohlenfadens der Glühlampe an und für sich betrifft, so steht also fest, dass von dem Augenblick an, wo durch den Kohlefaden ein, sei es auch noch so schwacher Strom geschickt wird, von dem Faden eine Energie ausgeht, die an einem empfindlichen Wärmemesser — ich habe dabei die in der Versuchsanordnung beschriebene Thermosäule benützt — in Wärme umgesetzt und relativ gemessen werden kann. Diese Wärmestrahlung wird ihre Intensitat vergrössern, je mehr der elektrische Strom verstärkt wird, und wird schliesslich ihr Maximum in der intensivsten Weissglut des Fadens erreichen, bei welcher auch die Lichtintensität am grössten ist. Dieser Prozess erleidet einen definitiven Abschluss dadurch, dass bei allzu grosser Stromintensität der Kohlenfaden zerreisst.

Zwischen der Gesamtemission des Kohlefadeus der Glühlampe und einer beliebigen Stromstärke lässt sich nun folgende Beziehung aufstellen. Der Ueberschuss, der von dem Kohlefaden pro Zeiteinheit ausgesandten Energie über die von ihm absorbierte ist gleich derjenigen, welche der elektrische Strom während der Zeiteinheit in dem Kohlefaden erzeugt. Der thermische Gleichgewichtszustand der Glühlampe wird also für jede Stromintensität dadurch bedingt sein, dass die bei der galvanischen Strömung von der elektromotorischen Kraft E in 1 Sekunde geleistete Arbeit, dargestellt durch das Produkt aus E und der Stromstärke J, gleich ist dem Energieverlust des Kohlefadens, der infolge der Emission eintritt, dieser noch multipliziert mit einer Konstanten. Bezeichnet man mit G die Gesamtemmission des Kohlefadens. so besteht die Gleichung:

$$(1). \ldots\ldots E \cdot J = c \cdot G,$$

wenn c die Konstante bedeutet.

Sofern der elektrische Strom hinreichend stark ist, um den Kohlefaden zur Glut zu bringen, wird sich die Gesamtemission desselben in Wärme- und Lichtstrahlung äussern. Die nach aussen abgegebene Gesamtenergie zerfällt dann in 2 Komponenten, Wärmeenergie (G') und Lichtenergie (L), sodass wir nunmehr Gleichung (1), indem wir unter Anwendung des Ohm'schen Gesetzes $E = J \cdot W$ setzen, schreiben können:

$$(2). \ldots\ldots J^2 \cdot W = c_1 G' + c_2 L,$$

wenn c_1 und c_2 bezügliche Konstanten bedeuten.

Werden zunächst so niedrige Stromintensitäten angewendet, dass der Kohlefaden noch nicht zur Glut gelangt, so äussert sich die gesamte nach aussen abgegebene Energie nur in Wärmestrahlung; es wird dann die Grösse L in Gleichung (2) verschwinden und G' in G übergehen, sodass wir Gleichung (1) $J^2 \cdot W = c \cdot G$ erhalten, in der wir unter G die Gesamtemission verstehen. Auch während der ersten Glühstadien des Kohlefadens (Grau- und Rotglut), wobei die zur Lichtentwicklung aufgewandte Energie noch sehr minimal ist, wird die Grösse L zu vernachlässigen sein, sodass die gesamte ausgestrahlte Energie in Wärme besteht. Kommen aber höhere Strominsensitäten zur Anwendung, so tritt, besonders bei hoher Weissglut, eine intensivere Lichtentfaltung ein, sodass ein gewisser Prozentsatz der Gesamtemission auf die Lichtenergie anzurechnen ist; dies wird dann Gleichung (2) am besten zum Ausdruck bringen.

Soll zunächst für niedrige Stromintensitäten die Gültigkeit des Gesetzes $J^2 \cdot W = c \cdot G$ oder in anderer Fassung:

$$(1'). \ldots\ldots \frac{J^2 \cdot W}{G} = c,$$

d. h. also: „der Quotient aus der von dem elektrischen Strome geleisteten Arbeit und der Gesamtemission ergibt stets einen konstanten Wert“ — experimentell nachgewiesen

werden, so erhält man durch Beobachtung die Werte für die Gesamtstrahlung G durch Vermittlung der Thermosäule als Ausschlag an dem mit derselben verbundenen Galvanometer. Von den beiden andern Grössen ist ohne weiteres die Stromstärke J am Milli-Ampèremeter gegeben; dagegen ist W, der Widerstand des Kohlefadens, bei Anwendung verschiedener Stromintensitäten nicht ohne weiteres bekannt; denn wenn ich vermittelst des in der Versuchsanordnung beschriebenen Lampenvorschalt-Apparats den für die Beleuchtung des Instituts verwendeten Starkstrom bei einer Spannung von 110 Volt reduzierte, so ist zwar die dadurch erzielte Stromstärke jedesmal am Ampèremeter gegeben, keineswegs aber der Widerstand des Kohlefadens in den verschiedenen Stadien, weil die Widerstände der neu hinzugefügten Lampen des Vorschaltapparates unbekannt bleiben. Da es nun überaus grosse Schwierigkeiten verursacht hätte, die so oft wechselnden Widerstände dieser Vorschaltlampen bei den verschiedenen Schaltungen festzustellen, so blieb nur der Weg übrig, die jedesmalige elektromotorische Kraft, die sich eben gleichzeitig mit der Stromstärke ändert, irgendwie zu bestimmen; denn durch Kenntnis des Verhältnisses zwischen elektromotorischer Kraft und Stromstärke ist der Widerstand leicht zu finden nach der Gleichung:

$$W = \frac{E}{J}.$$

Es gelang, unter Benützung der verschiedenen Batterien des physikalischen Instituts eine Reihe von verschiedenen Spannungen herzustellen und, da jetzt ausser der Stromstärke auch die Spannung bekannt war, nach obiger Formel den jeweiligen Widerstaud des Kohlefadens der Glühlampe zu ermitteln. Die folgende Tabelle gibt die Spannung in Volt (V), die Stromstärke in Ampère (A) und den aus diesen beiden Grössen berechneten Widerstand des Kohlefadens in Ohm (Ω) an.

Tabelle 3.

V	A	Ω
110	0,715	153,9
108	0,700	154,3
106	0,684	155,0
104	0,669	155,5
102	0,654	156,0
100	0,639	156,5
98	0,624	157,1
96	0,609	157,6
94	0,594	158,3
92	0,578	159,2
90	0,563	159,8
88	0,549	160,3
86	0,534	161,0
84	0,520	161,5
82	0,507	161,7
80	0,494	161,9
78	0,480	162,5
76	0,465	163,4
74	0,450	164,4
72	0,435	165,3
70	0,420	166,7
68	0,406	167,5
66	0,391	168,8
64	0,377	169,8
62	0,363	170,8
60	0,350	171,4
58	0,335	173,1
56	0,321	174,5
54	0,308	175,3
52	0,294	176,9
50	0,280	178,6
48	0,267	179,8
46	0,253	181,8
44	0,240	183,3
42	0,227	185,0
40	0,214	186,9
38	0,201	189,1
36	0,188	191,5

V	A	Ω
34	0,175	194,3
32	0,163	196,3
30	0,150	200,0
28	0,138	202,9
26	0,125	208,0
24	0,114	210,5
22	0,102	215,7
20	0,090	222,2
18	0,080	225,0
16	0,070	228,6
14	0,060	233,3
12	0,050	240,0
10	0,040	250,0
8	0,031	258,1
6	0,022	272,7
4	0,014	285,7
2	0,0068	294,1

Der Widerstand des Kohlefadens in kaltem Zustande war nach einer andern Methode, wie anfangs gezeigt worden ist, 300 Ω stark — also in guter Uebereinstimmung mit dieser Tabelle — gefunden worden. Es ist ersichtlich, dass sich der Widerstand desselben vom kalten Zustande an durch die verschiedenen Glühstadien hindurch bis zur hohen Weissglut in einem Intervalle von rund 150 Ω bewegt; er verändert sich in der Weissglut, die hier als solche bei einer Stromstärke von 0,715 A bis ungefähr 0,380 A betrachtet werden darf, sehr wenig, nimmt aber schon etwas mehr zu in der Rotglut von 0,380 A bis 0,080 A; diese Sprünge vergrössern sich in der Nähe der Grauglut bei 0,070 A und sind am grössten von der Glutlosigkeit an, die bei 0,060 A beginnt. Aus obiger Tabelle vermochte ich also, durch Interpolation den Widerstand des Kohlefadens für jede Stromstärke, die ich bei den Wärmestrahlungsbeobachtungen angewandt habe zu berechnen. Somit wäre jede der in

Gleichung (1') vorkommenden Grössen durch Beobachtung zu finden.

Soll nun die Strahlung bei Anwendung höherer Stromintensitäten beobachtet werden, so kommt das Gesetz (2) $J^2 \cdot W = c_1 G' + c_2 L$ zur Anwendung. Hierbei sind die Werte für J und W ohne weiteres, wie eben dargetan, durch Beobachtung zu erhalten. Die Grösse G', welche jetzt die von dem Kohlefaden ausgesandte Wärmeenergie bedeutet, gibt das Galvanometer als Ausschlag in Zahlen an. Die Werte für die Lichtenergie sind ebenfalls auf Grund der früher ausgeführten photometrischen Messungen bekannt. Werden nun die bei einer Reihe von Beobachtungen gefundenen Werte für alle in der Gleichung: $J^2 \cdot W = c_1 G' + c_2 L$ in Betracht kommenden Grössen eingesetzt, so erhält man ebenso viele Gleichungen, als von einander verschiedene Stromintensitäten angewendet wurden. Durch Kombination je zweier solcher Gleichungen erhält man die Werte für c_1 und c_2. Wenn die letzteren die geforderte Konstanz aufweisen, so hat man dadurch ein Kriterium, ob die Beobachtungen als gelungen zu betrachten sind; zugleich ist es Beweis für die Gültigkeit der Formel. Mit Hilfe dieser beiden nunmehr bekannten Grössen lässt sich schliesslich durch einfache Operation „das prozentuale Verhältnis zwischen Wärme- und Lichtenergie, in welches die Gesamtemission des Kohlefadens der Glühlampe zerfällt,“ feststellen.

Im folgenden soll zunächst bei den niedrigsten Stromintensitäten die Gesamtemission gemessen und auf Grund dieser Beobachtungen untersucht werden, ob der in Gleichung (1') aufgestellte Quotient $J^2 \cdot W/G$ stets einen konstanten Wert ergibt.

Die Beobachtungen selbst geschahen in folgender Weise. Nachdem die Versuchslampe in einer gewissen Entfernung d vor den die Wärmestrahlung empfangenden Lötstellen der Thermosäule aufgestellt war, wurde zuerst die niedrigste Stromstärke vermittelst des Lampenvorschalt-Apparats hervorgerufen, der darauf erfolgende Ausschlag am Galvanometer durch das Fernrohr beobachtet und, sobald er sein Maximum

erreicht hatte, notiert, worauf sofort durch neues Stöpseln am Vorschaltapparat zu einer höheren Stromstärke übergegangen und der Ausschlag wiederum gemessen wurde. Diese Beobachtungen konnten so bis zur höchsten anwendbaren Stromstärke fortgesetzt werden; mitunter wurde derselbe Prozess auch rückwärts vorgenommen. Ferner ist noch die Dauer der Bestrahlung, der die Thermosäule ausgesetzt wurde, durch Angabe der Zeit notiert und die Zimmertemperatur t_z und die Wassertemperatur t_w in dem Behälter, der mit den der Strahlungsaufnahme entgegengesetzten Lötstellen der Thermosäule in inniger Berührung stand, beobachtet worden. Diese beiden Temperaturen, änderten sich während eines Versuchs, selbst wenn er mehrere Stunden dauerte, niemals mehr als um 0,1°; sie dürfen daher als konstant betrachtet werden und sind infolgedessen nur einmal am Anfang jedes Versuchs notiert.

Von mehreren Beobachtungen, wobei die Entfernung des Kohlefadens der Glühlampe von der Thermosäule d = 14 cm war, sei die folgende herausgegriffen. — Der besseren Uebersicht halber ist jede Einzelbeobachtung bei einer bestimmten Stromstärke mit einer römischen Ziffer numeriert.

Tabelle 4.

$d = 14$ cm, $t_z = 17{,}8^0$, $t_w = 17{,}8^0$

Zeit	A	Ω	Galvanometerausschlag in cm
		Nullpunkt:	23,6
		I.	
2h 15m 00s	0,060	233,3	23,6
— 15	|	|	24,4
— 30	|	|	25,0
16	|	|	25,8
17	|	|	26,5
18	|	|	27,2
20	|	|	27,95
22	|	|	28,7
25	|	|	29,35
28	|	|	29,5
30	0,060	233,3	29,55

Zeit	A	Ω	Ausschlag in cm
		II.	
2h 30m 00s	0,075	226,8	29,55
— 30			30,6
31			31,0
33			31,9
35			32,4
37			32,9
39			33,1
42			33,25
45	0,075	226,8	33,3
		III.	
2h 45m	0,097	220,0	33.3
— 30			35,3
46			35,9
48			37,1
50			37,9
52			38,45
54			38,85
55			39,0
58			39,15
3h 00	9,097	220,0	39,2
		IV.	
3h 00	0,127	207,2	39,2
— 30			43,0
01			44,0
04			46,6
07			48,0
09			48,55
10			48,8
13			49,0
15	0,127	207,2	49,05
		V.	
15	0,150	200,0	49,05
— 30			52,9
16			53,95
18			56,0
20			57,2
22			58,1
24			58,8
25			59,05
28			59,25
30	0,150	200,0	59,3

Zeit	A	Ω	Ausschlag in cm.
	VI.		
3h 30	0,182	192,7	59,3
— 30			64,45
31			65,9
33			68,7
35			70,3
37			71,55
39			72,3
40			72,7
43			72,95
45	0,182	192,7	73,0
	VII.		
3h 45m	0,205	188,4	73,0
— 30			77,3
46			78,75
48			81,3
50			82,9
52			84,0
54			84,9
55			85,25
58			85,45
4h 00	0,205	188,4	85,5
	VIII.		
4h 00	0,218	186,3	85,5
— 30			88,6
01			89,3
03			91,0
05			92,0
07			92,7
09			93,3
10			93,6
13			93,8
15	0,218	186,3	93,8

Aus diesen durch Beobachtung erhaltenen Werten für die in Gleichung (1') angeführten Grössen J, W und G ist nun jedesmal der Quotient $J^2 \cdot W/G$ zu bilden, um zu

ermitteln, ob er für jede der angewendeten 8 Stromintensitäten konstant bleibt. — Zur Ausführung dieser Rechnung sei bemerkt, dass das durch die Galvanometerausschläge in cm erhaltene Skalenmass auf den Bogenwert des Ausschlagswinkels reduziert worden ist. — Es wurden folgende Werte für obigen Quotienten erhalten:

Resultat 1.

Nummer	A	Ω	log G	$\frac{J^2 \cdot W}{G}$
I	0,060	233,3	8.4564—2	29,37
II	0,075	226,8	8.6685	27,37
III	0,097	220,0	8.8744	27,64
IV	0,127	207,2	9.0861—1	27,41
V	0,150	200,0	9.2314	26,41
VI	0,182	192,7	9.3696	27,25
VII	0,205	188,4	9.4638	27,21
VIII	0.218	186,3	9.5156	27,01

Hiermit wäre wohl, wie aus der letzten Kolumne ersichtlich ist, das in der Gleichung (1') aufgestellte Gesetz, wonach der Quotient $J \cdot {}^2W/G$ stets einen konstanten Wert liefern soll, bei den hier angewandten niedrigen Stromintensitäten verifiziert.

Die Abhängigkeit der Wärmestrahlung von der Stromintensität ist durch Kurve 2 im Anhang graphisch dargestellt.

Die folgenden Beobachtungen sollen mit Einschluss derselben niedrigen Stromintensitäten auf höhere ausgedehnt werden, wobei schon eine merkliche Lichtentwicklung zu verzeichnen ist.

Tabelle 5.

$d = 25$ cm, $t_z = 17{,}8^0$, $t_m = 17{,}8^0$

Zeit	Normalkerzen	Ω	A	Ausschlag in cm
			Nullpunkt:	23,35
		I.		
5h 43m 00s	.	233,3	0,060	23,35
30				24,0
44				24,4
45				24,75
46				25,0
48				25,25
50				55,4
52				25,5
53	.	233,3	0,060	25,55
		II.		
5h 53m	.	226,8	0,075	25,55
—30				25,9
54				26,0
55				26,15
58				26,45
6h 00				26,55
01				26,6
02	.	226,8	0,075	26,65
		III.		
03m	.	220,0	0,097	26,65
—30				27,55
04				27,9
06				28,3
08				28,55
10				28,73
11				28,8
12	.	220,0	0,097	28,85

Zeit	Normalkerzen	Ω	A	Ausschlag in cm
		IV.		
6h 13m	.	207,2	0,127	28,85
—30				30,3
14				30,6
15				31,05
17				31,55
20				32,0
22				32,2
23	.	207,2	0,127	32,25
		V		
23m 00	.	200,0	0,150	32,25
—15				33,25
—30				33,65
24				34,0
25				34,5
28				35,15
30				35,45
32				35,7
33	.	200,0	0,150	35,75
		VI.		
33m 00	.	193,2	0,180	35,75
—15				37,5
—30				38,1
34				38,6
35				39,2
38				40,05
40				40,5
42				40,75
43	.	193,2	0,180	40,85
		VII.		
43	.	188,6	0,204	40,85
—15				42,1
—30				42,7
44				43,3
47				44,35
50				44,95
52				45,25
53	.	188,6	0,204	45,35

Zeit	Normalkerzen	Ω	A	Ausschlag in cm
		VIII.		
6h 53m 00	.	186,3	0,218	45,35
—30				46,3
54				46,9
55				47,3
58				47,9
7h 00				48,1
01				48,15
02				48,2
03	.	186,3	0,218	48,25
		IX.		
03	.	184,6	0,230	48,25
—15				48,7
—30				49,1
04				49,7
05				50,15
08				50,7
10				50,9
11				50,95
12				51,0
13	.	184,6	0,230	51,05
		X.		
13	.	181,8	0,253	51,05
—15				52,8
—30				53,2
—45				53,5
14				53,65
15				54,1
18				54,95
20				55,15
51				55,25
22				55,35
23	.	181,8	0,253	55,4

Zeit	Normalkerzen	Ω	A	Ausschlag in cm
		XI.		
7^h 23^m	.	179,4	0,271	55,4
— 15				57,0
— 30				57,65
24				58,1
25				58,6
26				59,0
27				59,25
29				59,65
31				59,85
33	.	179,4	0,271	59,95
		XII.		
33	.	176,6	9,297	59,95
— 15				61,9
— 30				62,7
34				63,3
36				64,35
39				65,2
41				65,45
43	.	176,6	0,297	65,65
		XIII		
43	0,21	174,4	0,322	65,65
44				69,9
45				70,3
46				70,65
47				71,0
49				71,6
51				72,0
53	0,21	174,4	0,322	72,35
		XIV.		
53	0,34	172,1	0,344	72,35
— 15				74,2
— 30				75,3
54				75,9
55				76,6
56				77,2
57				77,5
59				78,0
8^h 01				78,35
03	0,34	172,1	0,343	78,5

Zeit	Normalkerzen	Ω	A	Ausschlag in cm.
		XV.		
8h 03m	0,52	170,8	0,363	78,5
—15				80,1
—30				81,1
04				81,6
05				82,2
06				82,65
09				83,4
11				83,75
13	0,52	170,8	0,363	83,95
		XVI.		
13	0,80	169,6	0,380	83,95
14				86,9
15				87,4
16				87,8
17				88,1
19				88,4
21				88,7
23	0,80	169,6	0,380	88,95
		XVII.		
23	1,13	168,4	0,396	88,95
—30				90,9
24				91,8
25				92,3
26				92,8
27				93,1
29				93,6
31				93,9
33	1,13	166,8	0,396	94,15
		XVIII.		
33	1,65	168,8	0,418	94,15
34				98,2
35				98,8
36				99,3
37				99,7
39				100,4
42				101,0
43	1,65	166,8	0,418	101,1

Die Beobachtungen I bis XII sollen wiederum das Gesetz (1'): $J^2 \cdot W/G = \text{const.}$ bestätigen. Es wurden folgende Werte dafür gefunden:

Resultat 2.

Nummer	A	Ω	log. G	$\frac{J^2.W}{G}$
I.	0,060	233,3	8.0244—2	79,4
II.	0,075	226,8	8.2005	80,4
III.	0,097	220,0	8.4222	78,7
IV.	0,127	207,2	8.6310	78,2
V.	0,150	200,0	8.7750	7 5,6
VI.	0,180	193,2	8.9242	74,5
VII.	0,204	188,6	9.0231—1	74,4
VIII.	0,218	186,3	9.0766	74,2
IX.	0,230	184,6	9.1225	73,7
X.	0,253	181,8	9.1852	76,0
XI.	0,271	179,4	9.2421	75,5
XII.	0,297	176,6	9.3038	77,4

Von Beobachtung XII an ist die Lichtintensität, da sie messbar geworden, in Rechnung zu setzen und daher Gleichung (2): $J^2 \cdot W = c_1 G' + c_2 L$ anzuwenden Es seien zunächst die für c_1 und c_2 gefundenen Werte angegeben.

c_1	c_2
77,07	0,857
77,12	0,805
77,26	0,910
77,11	0,798
77,26	0,777
77,12	0,813

Aus diesen Werten, die besonders bei c_1 eine gute Uebereinstimmung zeigen, das arithmethische Mittel genommen, so ergeben sich folgende Werte für diese beiden Konstanten, die dann zur Berechnung des prozentualen Verhältnisses zwischen Wärme- und Lichtstrahlung dienen sollen:

$$c_1 = 77{,}15, \quad c_2 = 0{,}827.$$

Nummer	A	Ω	log. G	L	Gesamtemission	
					Wärmeenerg. in %	Lichtenergie in %
XIII.	0,322	174,4	9.3661—1	0,21	99,12	0,96
XIV.	0,344	172,1	9.4158	0,34	98,68	1,38
XV.	0,363	170,8	9.4551	0,52	97,75	1,91
XVI.	0,380	169,6	9.4879	0,80	96,88	2,70
XVII.	0,396	168,4	9.5192	1,13	96,56	3,53
XVIII.	0,418	166,8	9.5572	1,65	95,49	4,68

Hierbei ist einmal die Wärmeenergie mit Hilfe der Konstanten c_1, das andere Mal die Lichtenergie mit Hilfe von c_2 für sich allein berechnet worden. Die dadurch erhaltenen Resultate können als sehr befriedigend betrachtet werden, da, wie man sieht, die beiden Energieen sich stets annähernd zu 100 ergänzen. Im allgemeinen ist also aus der letzten Kolumne ersichtlich, dass die von dem elektrischen Strom in dem Kohlefaden der Glühlampe erzeugte Energie zum weitaus grössten Teil als Wärme nach aussen abgegeben wird. Sendet z. B. der Faden bei einer Stromintensität von 0,396 A eine Helligkeit von rund 1 Normalkerze aus, so wird nur circa $3^1/_2$% von der gesamten elektrischen Energie zur Erzeugung des Lichts verbraucht, während der übrige, viel grössere Teil von $96^1/_2$% in Wärme umgesetzt wird.

Die folgenden Beobachtungen sind bis zur höchsten verwendbaren Stromintensität ausgedehnt worden.

Tabelle 6.

d = 50 cm., t_z = 17,6°, t_w = 17,6°.

Zeit	Normalkerzen	A	Ω	Ausschlag in cm.
			Nullpunkt:	21,5
		I.		
8h 46m 00s		0,060	233,3	21,5
15				21,7
30				21,8
47				21,95
49				22,2
51				22,25
53				22,3
55				22,35
56		0,060	233,3	22,35
		II.		
8h 57m		0,084	223,8	22,35
—30				22,65
58				22,8
59				22,9
9h 01				23,0
03				23,05
05				23,1
07		0,084	223,8	23,1
		III.		
08m		0,126	207,6	23,1
—30				23,9
09				24,3
10				24,5
12				24,7
14				24,8
16				24,85
18				24,9
19		0,126	207,6	24,9

Zeit.	Normalkerzen	A	Ω	Ausschlag in cm.
		IV.		
9h 20m	.	0,150	200,0	24,9
21				25,6
22				25,9
23				26,0
25				26,2
27				26,3
29				26,35
31	.	0.150	200,0	26,35
		V.		
32m	.	0,180	193,2	26,35
—30				27,3
33				27,5
34				27,7
35				27,8
37				28,0
40				28,1
42				28,15
43	.	0,180	193,2	28,15
		VI.		
44m 00	.	0,200	189,3	28,15
—30				28,9
45				29,05
46				29,3
47				29,4
49				29,55
52				29,75
54				29,8
55	.	0,200	189,3	29,8
		VII.		
9h 56m	.	0,227	185,0	29,8
10h 00				31,75
03	.	0,227	185,0	31,8

Zeit	Normalkerzen	A	Ω	Ausschlag in cm
		VIII.		
10^{h} 04^{m}	.	0,250	182,1	31,8
— 15				32,5
— 30				32,8
05				32,9
06				33,1
07				33,3
09				33,45
12				33,6
14				33,7
16				33,75
17	.	0,250	182,1	33,75
		IX		
18^{m}	.	0,268	179,7	33,75
— 30				34,6
19				34,8
20				35,0
21				35,1
23				35,2
25				35,3
27				35,35
28	.	0,268	179,7	35,35
		X.		
29^{m}	.	2,290	177,4	35,35
— 30				36,5
30				36,7
31				36,9
32				37,1
34				37,3
37				37.45
39				37,55
41	.	0,290	177,4	37,6

Zeit	Normalkerzen	A	Ω	Ausschlag in cm
		XI.		
10h 42m	0,20	0,317	174,7	37,6
— 30				38,8
43				39,1
44				39,3
45				39,5
47				39,7
50				39,9
52				40,0
54				40,1
55	0,20	0,317	174,7	40,15
		XII.		
56m 00	0,30	0,340	172,5	40,15
—30				41,3
57				41,5
58				41,7
59				41,8
11h 00				41,85
02				42,05
05				42,2
07				42,3
09	0,30	0,340	172,5	42,35
		XIII.		
10m	0,48	0,359	171,0	42,35
—30				43,4
11				43,7
12				43,8
13				43,9
15				44,1
18				44,25
20				44,35
22				44,4
23	0,48	0,359	171,0	44,4

Zeit	Normalkerzen	A	Ω	Ausschlag in cm.
		XIV.		
11h 24m	0,68	0,373	170,1	44,4
—30				45,1
25				45,2
26				45,5
27				45,6
29				45,75
32				45,9
34				46,0
36	0,68	0,373	170,1	46,0
		XV.		
37m	1,01	0,390	168,9	46,0
38				47,3
39				47,5
40				47,55
42				47,65
45				47,8
47				47,95
49	1,01	0,390	168,9	48,0
		XVI.		
50m	1,46	0,411	167,2	48,0
51				49,5
52				49,7
53				49,85
55				50,1
58				50,3
12h 00				50,4
02	1,46	0,411	167,2	50,5
		XVII.		
12h 03m	1,98	0,429	165,9	50,5
04				51,8
05				51,85
06				51,9
08				52,0
11				52,2
14				52,3
15	1,98	0,429	165,9	52,3

Zeit	Normalkerzen	A	Ω	Ausschlag in cm
		XVIII.		
12h 16m	2,71	0,451	164,5	52,3
— 30				53,7
17				53,9
18				54,2
19				54,45
21				54,8
24				55,0
26				55,05
28	2,71	0,451	164,5	55,1
		XIX.		
29m	3,90	0,480	162,5	55,1
30				57,2
31				57,4
32				57,6
34				57,8
37				58,0
40				58,15
41				58,2
42	3,90	0,480	162,5	58,25
		XX.		
43m	5,41	0,509	161,7	58,25
— 30				60,0
44				60,3
45				60,6
46				60,8
48				61,1
51				61,3
53				61,45
54	5,41	0,509	161,7	61,5

Zeit	Normalkerzen	A	Ω	Ausschlag in cm.
		XXI.		
12h 55m	6,87	0,532	161,1	61,5
— 15				62,8
— 30				63,1
— 45				63,3
56				63,4
57				63,75
58				64,0
1h 00				64,35
03				64,6
06				64,75
08	6,87	0,532	161,1	64,8
		XXII.		
1h 08m	8,84	0,559	159,9	64,8
— 30				66,5
09				66,75
10				67,1
11				67,3
13				67,6
16				67,95
19				68,1
21	8,84	0,559	159,9	68,2
		XXIII.		
21m	11,03	0,580	159,1	68,2
— 30				69,8
22				70,1
23				70,45
24				70,7
26				71,0
29				71,2
31				71,3
32	11,03	0,580	159,1	71,35
		XXIV.		
33m	11,55	0,585	158.8	71,35
34				71,7
35				71,8
37				72,0
39	11,55	0,585	158,8	72,05

Zeit	Normalkerzen	A	Ω	Ausschlag in cm
		XXV.		
1h 40m	13,56	0,604	157,8	72,05
— 15				73,2
— 30				73,4
— 45				73,5
41				73,55
42				73,8
43				74,15
45				74,4
48				74,65
50				74,8
52	13,56	0,604	157,8	74,8
		XXVI.		
53m	15,55	0,621	157,2	74,8
— 30				76,0
54				76,2
55				76.4
56				76,55
58				76,85
2h 01				77,05
03				77,2
05	15,55	0,621	157,2	77,2
		XXVII.		
06m	17,77	0,639	156,5	77,2
— 30				78,35
07				78,6
08				78,8
09				78,95
10				79,0
12				79,2
15				79,4
17				79,5
19	17,77	0,639	156,5	79,5

Zeit	Normalkerzen	A	Ω	Ausschlag in cm
		XXVIII.		
2h 19m	19,45	0,650	156,1	79,5
— 30				80,5
20				80,7
21				80,9
22				81,1
24				81,2
27				81,4
29	19,45	0,650	156,1	81,4
		XXIX.		
30m	21,51	0,663	155,7	81,4
— 30				82,4
31				82,5
32				82,6
33				82,75
35				82,95
38				83,05
40				83,1
42	21,51	0,663	155,7	83,1
		XXX.		
43m	32,56	0,718	153,8	83,1
— 15				86,1
— 30				87,1
— 45				87,6
44				87,9
— 30				88,5
45				88,8
46				89,5
47				89,85
48				90,1
50				90,5
52				90,9
55				91,3
57				91,4
59				91,45
3h 01				91,5
03	32,56	0,718	153,8	91,5

Für die bei diesen Beobachtungen angewandten niedrigen Stromintensitäten von I bis X möge wiederum die Gültigkeit des Gesetzes $J^2 \cdot W/G = \text{const.}$ nachgewiesen werden.

Resultat 3.

Nummer	A	Ω	log G	$\frac{J^2 \cdot W}{G}$
I	0,060	233,3	7.6114—3	205,5
II	0,084	223,8	7.8861	205,3
III	0,126	207,6	8.2134—2	201,6
IV	0,150	200,0	8.3677	193,0
V	0,180	193,2	8.5046	195,9
VI	0,200	189 3	8.6007	189,9
VII	0,227	185,0	8.6944	192,7
VIII	0,250	182,1	8.7697	193,4
IX	0,268	179,7	8.8229	194,0
X	0,290	177,4	8.8881	193,1

Soll nun bei den folgenden Stromintensitäten von XI bis XXX das Verhältnis zwischen Wärme- und Lichtenergie festgestellt werden, so kommt jetzt wieder die Formel $J^2 \cdot W = c_1 G' + c_2 L$ zur Anwendung. Als Werte für die beiden Grössen c_1 und c_2 wurden erhalten:

c_1	c_2	c_1	c_2
197,7	0,576	196,5	0,748
195,6	0,748	198,1	0,541
196,2	0,465	196,0	0,572
197,0	0,806	197,8	0,693
195,8	0,646	195,9	0,586
197,3	0,797	198,4	0,511
195,7	0,744	195,7	0,666
197,4	0,715	198,2	0,683
198,6	0.510		

Hiernach erhält man als arithmetische Mittel für die beiden Konstanten:

$$c_1 = 196,9, \quad c_2 = 0,647$$

Da die Werte für c_1 in vorangehender Tabelle eine weit grössere Uebereinstimmung aufweisen, als diejenigen für c_2, so werden auch die folgenden Rechnungen, die mit Hilfe von c_1 ausgeführt worden sind, einen grösseren Anspruch auf Genauigkeit machen können; die im folgenden für die Wärmeenergie angegebenen Werte werden also denjenigen für die Lichtenergie inbezug auf Genauigkeit vorzuziehen sein.

Nummer	A	Ω	log G'	L	Gesamtemission	
					Wärmeenergie in %	Lichtenergie in %
XI	0,317	174,7	8.9494-2	0,20	99,82	0,74
XII	0,340	172,5	8.9999	0,30	98,73	0,97
XIII	0,359	171,0	9.0405-1	0,48	98,07	1,41
XIV	0,373	170,1	9.0696	0,68	97,66	1,86
XV	0,390	168,9	9.1035	1,01	97,27	2,54
XVI	0,411	167,2	9.1422	1,46	96,73	3,34
XVII	0,429	165,9	9.1681	1,98	94,97	4,20
XVIII	0,451	164,5	9.2054	2,71	94,43	5,24
XIX	0,480	162,5	9.2440	3,90	92,24	6,74
XX	0,509	161,7	9.2799	5,41	89,54	8,36
XXI	0,532	161,1	9.3137	6,87	88,92	9,75
XXII	0,559	159,9	9.3457	8,84	87,36	11,45
XXIII	0,580	159,1	9.3733	11,03	86,80	13,32
XXIV	0,585	158,8	9.3792	11,55	86,75	13,75
XXV	0,604	157,8	9.4014	13,56	86,18	15,24
XXVI	0,621	157,2	9.4198	15,55	85,39	16,60
XXVII	0,639	156,5	9.4368	17,77	84,46	18,04
XXVIII	0,650	156,1	9.4503	19,45	84,20	19,06
XXIX	0,663	155,7	9.4619	21,51	83,34	20,34
XXX	0,718	153,8	9.5146	32,56	81,21	26,5

Wie schon vorher angedeutet, ist den in diesem Resultat für die Lichtenergie berechneten Werten nicht solche Bedeutung wie denen für die Wärmeenergie beizulegen; dass die ersteren die gewünschte Genauigkeit nicht durchweg aufweisen, liegt daran, dass die Konstante c_2 nicht so gut wie c_1 ermittelt worden ist. Es genügt ja schliesslich, eine der beiden Energieen, also in diesem Falle die Wärmeenergie*), immerhin genau ermittelt zu haben, da durch sie die Lichtenergie als Ergänzung zur Gesamtemission bestimmt ist. Jedenfalls verschaffen uns die obigen Zahlen einen hinreichenden Überblick, in welcher Weise die von dem elektrischen Strom in dem Kohlefaden der Glühlampe erzeugte Energie verbraucht wird. Da für gewöhnlich die zur Beleuchtung verwendeten Glühlampen eine durchschnittliche Lichtintensität von 16 Normalkerzen aufweisen, so darf wohl aus obigem Resultat gefolgert werden, dass ungefähr nur 15 bis 16 % von der zum Betriebe erforderlichen elektrischen Energie, dagegen der bei weitem grössere Teil von rund 85 % in Wärme umgesetzt wird.

Schluss.

Zusammenfassend dürfen wir folgendes aussprechen: Die von dem elektrischen Strom in dem Kohlefaden der Glühlampe erzeugte Energie wird zum weitaus grössten Teil von dem Faden als Wärme ausgestrahlt; nur ein geringer Prozentsatz wird in Licht umgesetzt. Wollen wir das Verhältnis zwischen Wärme- und Lichtenergie kennen lernen, so gibt uns die am Beginn unsrer Untersuchungen aufgestellte Beziehung: $J^2 \cdot W = c_1 G' + c_2 L$ ein Mittel dazu an die Hand. Es ist natürlich erforderlich, die Wärme- und

*) Hierzu sei noch bemerkt: Mit Hilfe des Photometers sind die sichtbaren Ätherwellen beobachtet, d. h. die Lichtenergie gemessen worden; da nun aber auf die Thermosäule ausser den ultraroten, den unsichtbaren Wärmewellen noch die im roten sichtbaren Teile des Spektrums vorhandenen Wärmewellen wirken, so müssen die Zahlen, welche die durch die Thermosäule gewonnene Energie darstellen, als ein klein wenig zu gross angesehen werden.

Lichtenergie bei einer Reihe von verschiedenen Stromintensitäten zu beobachten. Werden dabei so schwache Stromintensitäten verwendet, dass der Kohlefaden noch nicht zur Glut gelangt, so beruht die von ihm nach aussen abgegebene Energie allein auf Wärme; dieser Vorgang findet dann einen passenden Ausdruck durch die Gleichung: $J_2 \cdot W/G = \text{const.}$, deren Gültigkeit unsre Beobachtungen erwiesen haben.

Am Schlusse meiner Arbeit sei es mir gestattet, Herrn Geheimrat O. E. Meyer für die gütige Überweisung und Förderung derselben meinen verbindlichsten Dank auszusprechen.

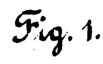


Fig. 1.

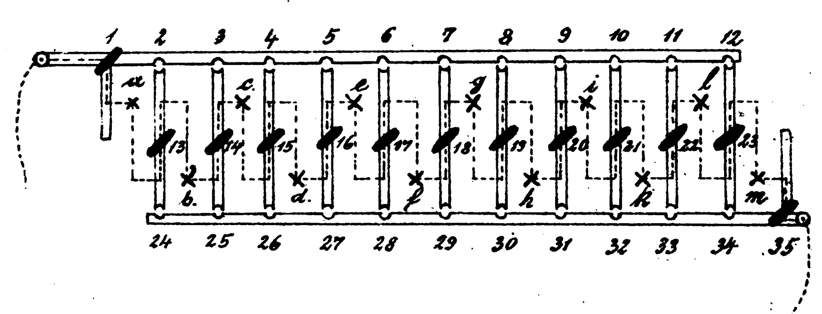
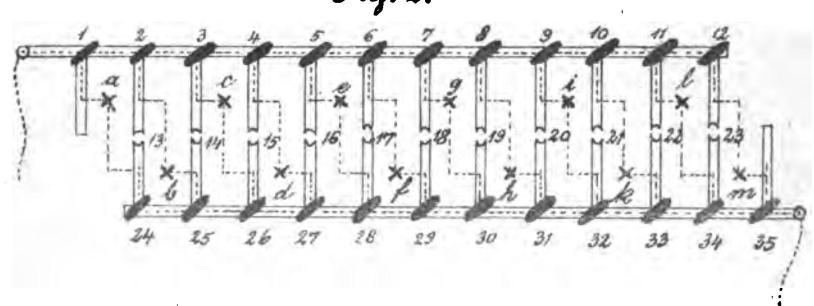
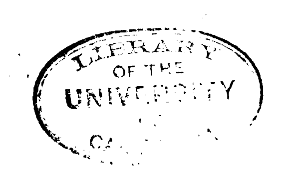
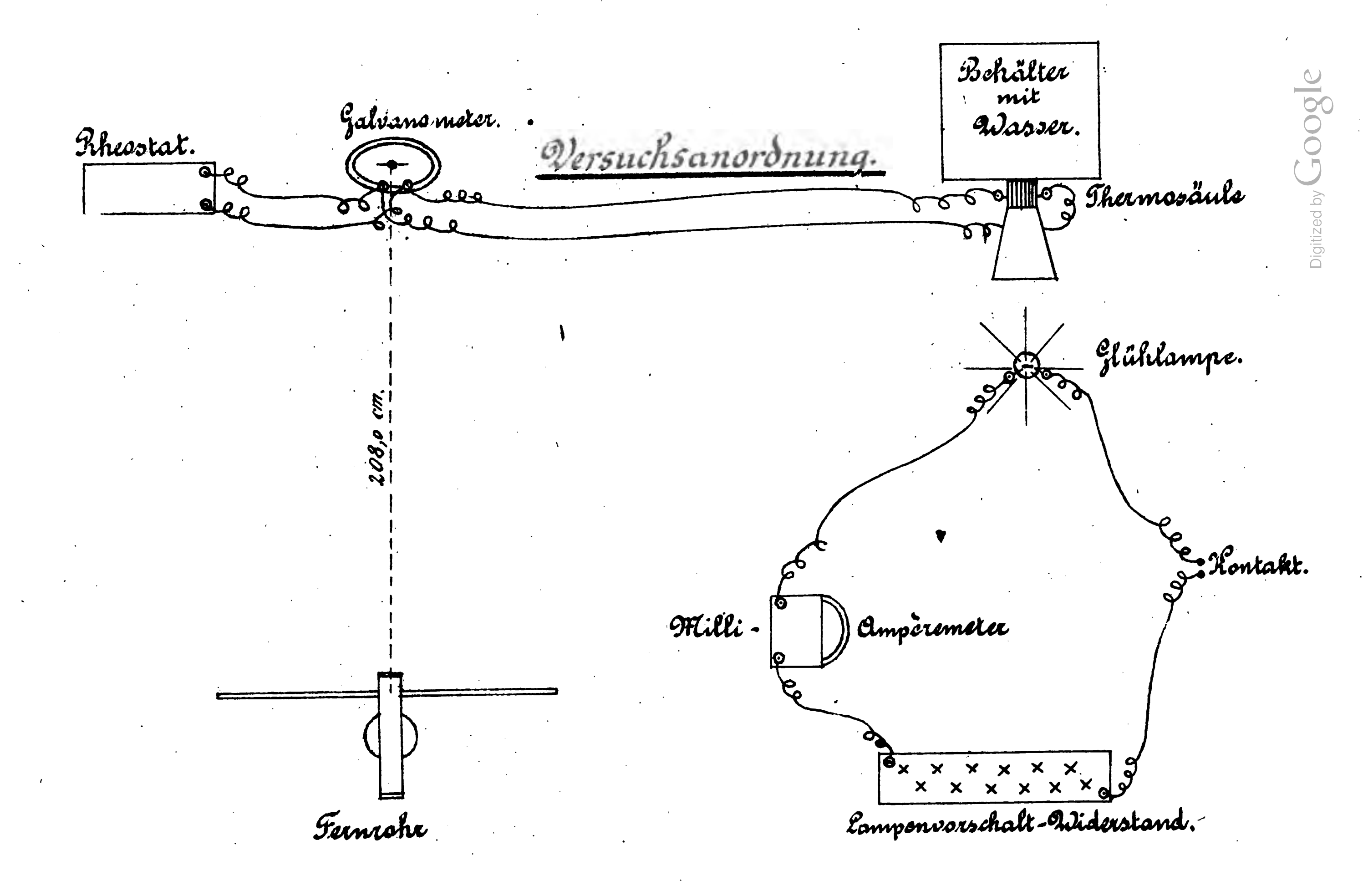

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12
a c e g i l
13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23
b d f h k m
24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35

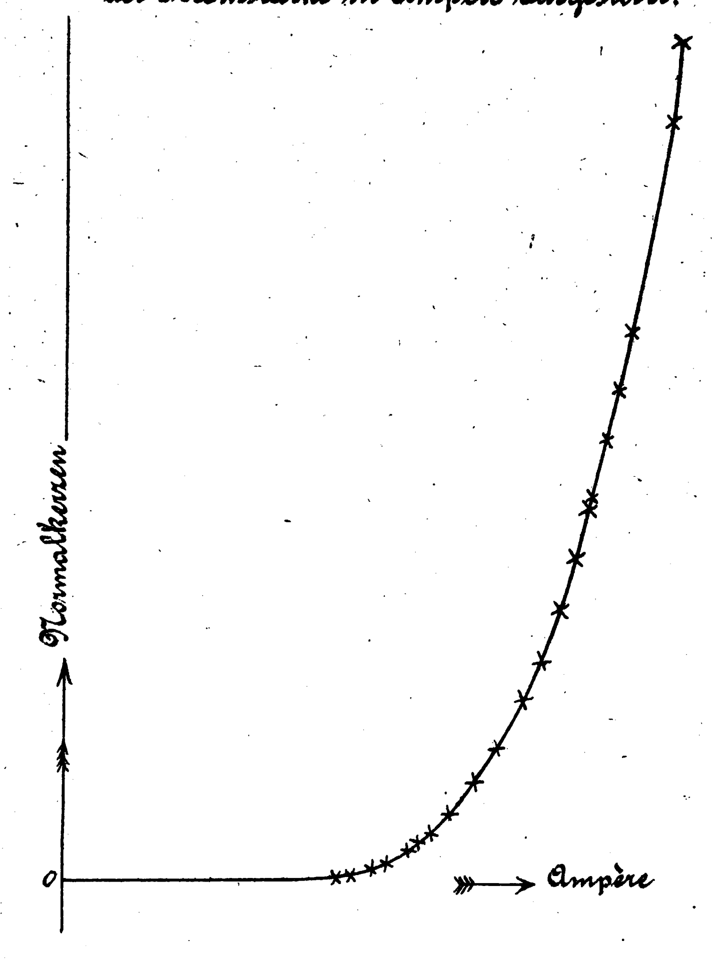
Fig. 2.


1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12
a c e g i l
13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23
b d f h k m
24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35



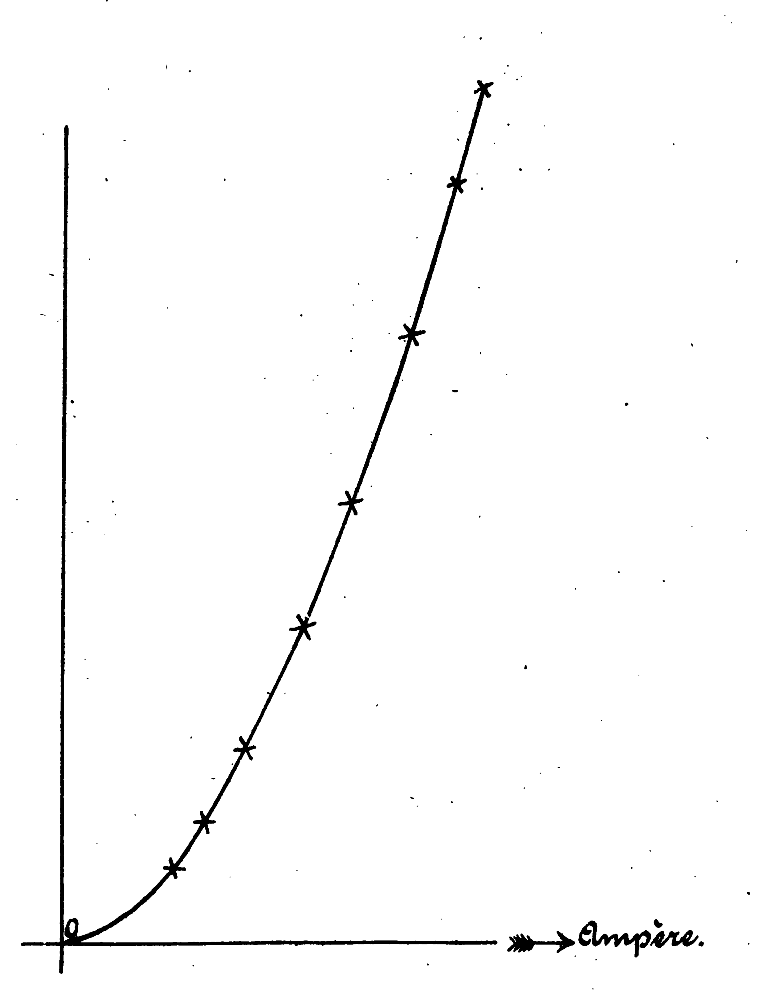

Versuchsanordnung.
Rheostat.
Galvanometer.
Behälter
mit
Wasser.
Thermosäule
208,0 cm.
Glühlampe.
Kontakt.
Milli-
Ampèremeter
Fernrohr
Lampenvorschalt-Widerstand.

Kurve 1.
(zu Tabelle 2)
Lichtintensität in Normalkerzen als Funktion der Stromstärke in Ampère dargestellt.



Kurve 2. (zu Tabelle 4).

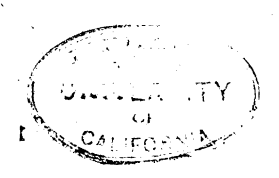
Wärmestrahlung als Funktion der Stromstärke dargestellt.

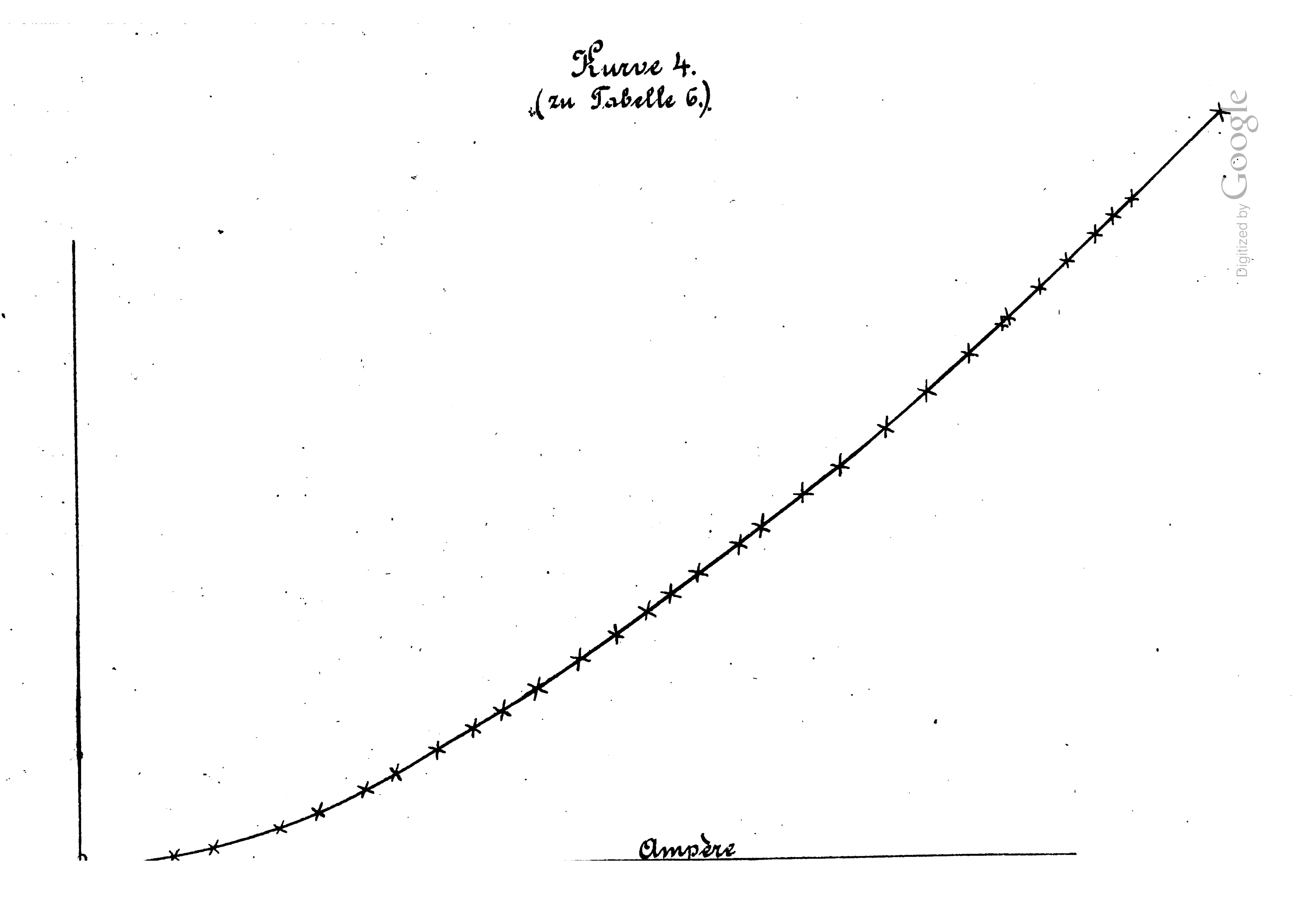


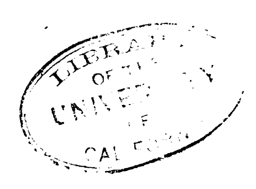
Kurve 3.
(zu Tabelle 5).

0

Ampère


UNIVERSITY
OF
CALIFORNIA


Kurve 4.
(zu Tabelle 6.)
Ampère



Lebenslauf.

Ich, Felix Fischer, evangelischer Konfession, wurde am 22. Juli 1878 zu Neuhof, Kreis Striegau, als Sohn des damaligen Rentmeisters Wilhelm Fischer und seiner Ehefrau Selma, geb. Adelt, geboren. Von Ostern 1889 bis 1891 besuchte ich das König Wilhelm-Gymnasium zu Breslau, darauf 1 Jahr das Gymnasium zu Wohlau und trat nach Verlegung des Wohnsitzes meiner Eltern in die Nähe von Rawitsch Ostern 1892 in die Untertertia des damaligen Realgymnasiums zu Rawitsch ein, wo ich Ostern 1898 das Zeugnis der Reife erhielt. Darauf studierte ich an der Universität zu Breslau Mathematik und Naturwissenschaften. Am 20. Mai 1903 bestand ich das Examen rigorosum. Während meines zehnsemestrigen Studiums besuchte ich die Vorlesungen, Übungen und Praktika folgender Herren Professoren und Dozenten:

Bohn, Bose, Brefeld, Ebbinghaus, Franz, Frech, Freudenthal, Heydweiller, Kükenthal, London, O. E. Meyer, Neumann, Rosanes, Stern, Sturm, Volz.

Allen diesen meinen hochverehrten Lehrern sage ich meinen besten Dank.

Thesen.

---

1) Es würde einen grossen Fortschritt auf dem Gebiete der Leuchttechnik bedeuten, wenn es gelänge, die zum Betriebe des elektrischen Glühlichts erforderliche Energie zum grösseren Teile zur Lichterzeugung nutzbar zu machen.

2) Der Stübel'schen Theorie der vulkanischen Erscheinungen ist nicht zuzustimmen, sondern an der Arrhenius'schen Theorie festzuhalten.

3) Ohne Psychologie kein gerechtes Urteil; dies gilt insbesondere beim Schulunterricht.

YC 1129
QC331
F5
159797
Fischer